

## YÜKSEK SICAKLIĞIN YAPI TAŞLARININ DAYANIMI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ULTRASONİK ÖLÇÜMLER İLE KESTİRİLMESİ

M. ÜNAL, E. BERBER, İ. YATAĞAN, S. AKKURT  
*Selçuk Üniversitesi, Mühendislik - Mimarlık Fakültesi, KONYA*

**ÖZET:** Doğal taşlar tarih öncesi çağdan beri yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Taş yapılar, bu yapıların korunması ve restorasyonu gibi konular günümüzde ilgi alanlarının odağında bulunmaktadır. Yangın gibi doğal felaketler bu yapılara çok fazla zarar verebilmekte ya da yıkılmasına neden olabilmektedir.

Bu çalışmada, yapı taşlarının yüksek sıcaklığa karşı dirençleri ultrasonik ölçümler ile belirlenmeye çalışılmıştır. Mevcut çalışma, laboratuvar ortamında yangına maruz kalan yapı taşlarının ultrasonik hızlarındaki değişime odaklanmıştır. Laboratuvar çalışmalarında farklı petrografik, fiziksel ve mekanik özelliklere sahip 14 farklı yapı taşı kullanılmıştır. Ultrasonik ölçümler ve laboratuvar gözlemleri yapı taşlarının doku ve mineral içeriğinin sıcaklık değişimine bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. Bu değişimler yapı taşlarının dayanımını ve duraylılığını etkilemektedir. Bu sonuçların değerlendirilmesi, hasar gören taşların değiştirilmesi ve hasar gören binanın restorasyon yönteminin seçiminde, bize çok faydalı bilgiler verebilir.

**Anahtar kelimeler:** Yangın, Yapı taşı, Ultrasonik hız

## An Estimation Of The High Temperature Effect On The Strength Of The Building Stone By Using Ultrasonic Measurements

**ABSTRACT:** Natural stones have been used as a construction material since prehistoric age. Stone buildings and their protection and restoration are nowadays in the focus of interest. Natural disasters like fire can strongly damage or even may ruin these buildings. In this study, the resistance of building stones against high temperature was determined by ultrasonic measurements.

The current study focuses on changes in the ultrasonic velocity of building stone subjected to simulated fire situations in the laboratory. 14 stones having different petrographical, physical and mechanical properties were used in the laboratory studies. The ultrasonic measurements and laboratory observation have shown that the texture and mineral composition of building stones are changed by heating. These changes influence the strength and durability of building stones. The evaluation of these results provides useful information when replacing damaged stone or one has to choose the suitable restoring method for the damaged part of buildings.

**Keywords:** Fire, Building stone, Ultrasonic velocity

## GİRİŞ

Kayaçlarda dayanıklılık problemine yol açan başlıca fiziksel etkilerden biri de yüksek sıcaklıktır. Bu etki kayaçlar üzerinde kalıcı hasarlar oluşturmakta ve kayaçların bozunmasına neden olmaktadır. Kayaçlar, yüksek sıcaklık etkisine, yangınlar sebebiyle maruz kalmaktadırlar. Kayaçlar, yangın

etkilerine iki şekilde maruz kalmaktadırlar. Bunlardan, birincisi doğal çevredeki yangınlar ikincisi ise binalardaki yangınlardır.

Doğal çevrede yangın, jeomorfolojik ve biyolojik değişimde etkili olan yaygın bir vasıta olarak karşımıza çıkmaktadır. Sıcaklıklar 1000 C'yi geçebilmektedir. Çoğunlukla, dik bir termal gradyenle ortam koşullarında hızlı bir artış meydana getirerek kayaçların dağılmasını

kolaylaştırmaktadır. Yangının kayaç bozunması üzerindeki etkilerini ölçmek için, laboratuvar ortamında gerçekleştirilen simülasyon deneylerden faydalandığı görülmektedir (Allison, 1988; Goudie ve diğ.,1992; Allison ve Bristow, 1999). Bu çalışmalarda, kayaç numunelerini ısıtmak için kül fırını, değişimleri belirlemek için ise ultrasonik yöntemler kullanılmıştır.

Diğer çalışma alanı ise yapı malzemelerinin yangın etkisine karşı dayanımları ile ilgilidir. Tarihi çağlar boyunca çok sayıda taş bina, yangın hasarları sonucu yıkılmıştır. Hajpal ve Török (1998) tarafından yapılan çalışmada, yangınların binalar üzerindeki potansiyel etkisinin binaların yapılması aşamasında hesaplanabileceği, yangının etkilediği binalardan elde edilen verilerin, yeni taş binalar yapılırken kullanılabileceği ve ayrıca bu tip taş binaların ne kadar risk altında olduğunun hesaplanmasının mümkün olabileceği ifade edilmiştir. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen bu çalışma sonucunda, yangın etkisiyle kayaçların petrolojik ve petrofiziksel yapısında oluşan değişimin, binanın taşıma kapasitesini düşürdüğü ifade edilmiştir (Hajpal ve Török, 1998).

Yangın, katı, sıvı ve gaz halindeki maddelerin ısı ve oksijenle birleşerek kontrol dışı yanması ile meydana gelen bir olaydır. İnsanlık tarihine bakıldığında, kontrol altında tutulamayan ateşin çoğu zaman önemli can ve mal kayıplarına yol açan bir felaket olduğu görülür. Bu durum, yangından korunmada aktif önlemlerin (yangın söndürücüleri, uyarı sistemleri vb.) ve pasif önlemlerin (yangına dayanıklı ve yangından koruyucu yapı

malzemeleri) önemini ortaya çıkarmıştır. Yangın sırasında, oluşan hasarların mertebesi birçok faktöre bağlıdır. En önemli iki faktör ise yangın sırasında ulaşılan sıcaklık derecesi ile malzemenin bu sıcaklığa maruz kalma süresidir (Baradan ve diğ., 2002).

Bu çalışmada, farklı petrografik, fiziksel ve mekanik özelliklere sahip doğal yapı taşlarının yangın nedeniyle ortaya çıkan yüksek sıcaklığa karşı dirençleri ultrasonik ölçümler ile kestirilmeye çalışılmıştır. Bu çalışma laboratuvar ortamında kül fırını kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar çalışmalarında 14 farklı özelliklere sahip yapı taşı kullanılmıştır. Laboratuvar gözlemleri yapı taşlarının sıcaklık artışına bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. Bu değişimlerin hangi yapı taşında daha belirgin olduğu ultrasonik ölçümler ile başarıyla belirlenmiştir.

## MALZEME VE YÖNTEM

### Çalışmada kullanılan kayaç örnekleri

Bu çalışmada kullanılan numuneler magmatik-vulkanik, metamorfik ve sedimanter orijinli doğal yapı taşları arasından seçilmiştir. Bu yapı taşlarının bazı petrografik, fiziksel ve mekanik özellikleri ISRM (1981) standartlarına uygun olarak belirlenerek, Çizelge 1’de özetlenmiştir.

Blok olarak temin edilen yapı taşlarından, laboratuvar ortamında, 54 mm çapında ve ortalama 75 mm uzunluğunda karot numuneler hazırlanmıştır. Her bir kayaç türünden, her bir grupta 5’er adet olmak üzere 6 grup oluşturulmuştur.



**Şekil 1.** Deneylerde kullanılan numuneler.  
**Figure 1.** The specimens used in the experiment.

**Çizelge 1.** Çalışmada kullanılan kayaçların petrografik, fiziksel ve mekanik özellikleri.*Table 1. Petrographical, physical and mechanical properties of rocks used in this study.*

Kayaç adı	UCS (Mpa)	$\sigma_t$ (Mpa)	$I_{s(50)}$	d	$\phi$ (gr/cm <sup>3</sup> )	P (%)	Tane boyut aralığı (mm)	Mineral içeriği	Orijin
Granit-AG	166,5	14,565	12,25	69,25	2,52	5,62	0,001-4,00	Quartz, plagioklas, ortoklas,amphibole, biotit, opak, epidot, muskovit,apatit,serisit	Mağmatik-S
Granit-KR	82,572	17,251	8,750	68,95	2,62	6,76	0,001-4,00	Quartz, plagioklas, ortoklas, amphibole, biotit mikroklin, opak	Mağmatik-S
Andezit-A	75,12	11,004	10,12	66,00	2,31	20,69	0,001-1,50	Plagioklas mikrolitler, plagioklas, amphibole, opak	Magmatik-V
Andezit-E	47,354	5,71	4,68	51,00	2,23	9,23	0,001-2,25	Plagioklas, amphibole, biotit, Quartz, piroksin, volkanik glas	Magmatik-V
Andezit-S	30,98	4,136	1,71	50,25	2,26	13,08	0,001-2,75	Plagioklas, amphibole, biotit, Quartz, volkanik glas	Magmatik-V
Andezit-KG	48,73	5,980	2,773	51,8	2,32	11,08	0,001-3,00	Plagioklas, amphibole, biotit, Quartz, volkanik glas	Magmatik-V
Mermer-A	73,844	9,423	7,755	58,35	2,68	1,83	0,1-2,0	Kalsit, opak, iskeletsel taneler, mikrit	Metamorfik
Bej-B	55,310	14,533	6,168	68,60	2,67	1,48	0,001-	Ooid, İntraklast, İskeletsel taneler, sparat, mikrit	Metamorfik
Bej-Y	46,385	12,859	5,793	68,40	2,78	3,47	0,1-1,1	Dolomit	Metamorfik
Traverten-M	61,193	10,173	4,958	54,70	2,45	12,31	0,01-2,6	Ooid, İntraklast, İskeletsel taneler, sparat	Sedimanter
Traverten-B	59,48	8,64	5,21	54,5	2,42	10,25	0,001-2,1	İntraklast, sparat, iskeletsel taneler	Sedimanter
Traverten-KL	52,35	6,735	3,48	49,45	2,38	12,86	0,001-0,1	İskeletsel taneler, sparat	Sedimanter
Traverten-G	57,87	7,64	4,42	58,10	2,50	8,76	0,001-0,3	Ooid, pellet, İntraklast, iskeletsel taneler, sparat,ekstroklast	Sedimanter
Limra-A	50,602	7,776	1,482	44,55	2,37	11,80	0,01-0,4	İntraklast, dolomit, iskeletsel taneler, organik malzemeler	Sedimanter

UCS: Tek eksenli basınç dayanımı,  $\sigma_t$ : Dolaylı çekme dayanımı,  $I_{s(50)}$ : Nokta yükleme dayanım indeksi, d: Schmidt sertliği,  $\phi$ : Kuru yoğunluk, P: Toplam gözeneklilik

Her bir grupta 30'ar adet olmak üzere toplam 420 adet silindirik numune kullanılmıştır. Deneyde kullanılan numuneler Şekil 1'de görülmektedir. Bu çalışmada kullanılan numune boyutları ISRM (1981) de bahsedilen standarda uygundur.

### Çalışmada kullanılan yöntemler

#### Ultrasonik hız ölçüm (Pundit) yöntemi

Ultrasonik yöntem, 1945'den bu yana hayli gelişme kaydetmiş hasarsız bir deney yöntemidir. Yöntem; kayaç içinden geçirilen ultrasonik dalga boyu hızının ölçülmesi esasına dayanır. Bu yöntem kullanılarak, ölçümler; dayanım deneylerinden daha pratik, daha ekonomik, daha hızlı ve en önemlisi yerindeki

kayaç üzerinden doğrudan doğruya yapılabilir.

Numunelerin yüksek sıcaklığa bağlı bozunum dereceleri, Şekil 2'de görülen ultrasonik ölçüm (Pundit Plus) aleti kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Ölçümlerde 54 kHz'lik transdüserler kullanılmıştır. Sinyal puls süreleri ise 0,1  $\mu$ s olarak seçilmiştir. Numunelerin sinyal geçiş süreleri (Transit time) ölçülmüş ve buna bağlı olarak, numune boyunun geçiş süresine oranından geçiş hızları (velocity) hesaplanmıştır. Sinyal geçiş hızları, kayaçların dayanımı ve gözeneklilik gibi özellikleri hakkında bilgi verebilmektedir. Kayaçtaki değişimler ultrasonik hız ölçümleri ile gözlenebilmektedir. Kayaçtaki değişim bozunma yönünde ise sinyal geçiş hızı azalmaktadır. Bu çalışmada kullanılan ultrasonik ölçüm sistemi ISRM (1981) de bahsedilen standarda uygundur.



**Şekil 2.** Ultrasonik ölçüm cihazı.

*Figure 2. Ultrasonic measurement equipment.*

### Yangının laboratuvarda simülasyonu

Yangın simülasyonunda, yangın ortamını oluşturmak için ısı kaynağı olarak kül fırını kullanılmıştır. Yangın sırasında sıcaklığın ortama göre değiştiği 1200 °C'ye kadar çıktığı ve yangın süresinin ortama bağlı olarak 5 saate kadar ulaştığı bilinmektedir. Bu çalışmada, yangın sırasında sıcaklığın ortalama bir saat sürdüğü ve 1000 °C'ye kadar yükseldiği varsayılmıştır. Yapı taşı örneklerinin sıcaklık artışına bağlı değişimlerini gözlemlemek için deneyler, 200, 400, 600, 800, 1000 °C sıcaklıklarda birer saat bekletilerek gerçekleştirilmiştir. Numuneler fırın içerisinde soğutularak laboratuvar ortamına alınmıştır. Ayrıca, 800 °C'de bozunan numuneler, numunelerin dayanım sıcaklıklarını belirlemek amacıyla 700 °C'de sıcaklığa maruz bırakılmışlardır.

### YAPILAN ÇALIŞMA VE DEĞERLENDİRMELER

Yapı taşlarında, yangın sonrasındaki değişimlerin olup olmadığını hasarsız olarak belirleyebilmek için ultrasonik ölçüm yöntemi kullanılmıştır. Sıcaklığın kayaçlar üzerindeki etkileri, kayaçların ultrasonik hızlarındaki değişime bağlı olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Öncelikle, numunelerin, farklı sıcaklıklara maruz

bırakılmadan önce ve sonrasında ultrasonik dalga hızları ölçülmüş ve elde edilen verilerin ortalama değerleri Çizelge 2'de ve yüzde değişim değerleri ise Çizelge 3'de verilmiştir. Ayrıca yüzde değişim değerleri grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 3).

Çizelge 2-3 ve Şekil 3'de görüleceği üzere metamorfik ve sedimanter orijinli kayaçların 800 °C üzeri sıcaklığa dayanamayacakları düşünüldükçe deneyler devam ettirilmemiştir. Bu nedenle, 1000 °C yerine 600-800 °C aralığı denenmiştir. Bu deneme sonucunda metamorfik ve sedimanter orijinli kayaçların bozunma görülse dahi tamamen bozunmadan 700 °C kadar dayanabildiği görülmüştür. Mağmatik orijinli kayaçların ise genellikle 1000 °C kadar dayanabildiği belirlenmiştir.

Farklı özelliklere sahip kayaçların sıcaklığa karşı dirençlerindeki değişim oranlarını görebilmek ve karşılaştırmak için 600 °C kadar olan değişim oranları grafik üzerinde gösterilmiştir. Önceden de belirtildiği gibi kayaçlardaki değişim bozunma yönünde ise ultrasonik hız azalmaktadır. Şekil 3'de verilen grafikte görüldüğü gibi sıcaklıktaki artışa bağlı olarak ultrasonik hız azalmaktadır. Ultrasonik hızdaki azalma farklı şekillerde olabilmektedir. Bu durum, kayaçların sıcaklığa farklı şekillerde tepki verdiğini ve sıcaklıkla birlikte bozunmanın arttığını göstermektedir.

Şekil 3'de görüldüğü gibi, ultrasonik ölçümlere göre, bozunmanın genel olarak orijinden başladığı gibi bir durum ortaya çıkmaktadır. Bu durum, 0 – 200 °C arasında herhangi bir ölçüm alınmadığından ve grafik çiziminden kaynaklanmaktadır. Deney çalışmaları sırasında yapılan gözlem ve ölçümler, bozunmanın 200 °C civarında başladığını göstermektedir. Ayrıca, yapılan ölçümler, sadece sıcaklığa bağlı numunelerdeki bozunmanın yüzde değişimlerini tanımlamaktadır. Farklı kayaçların dayanımlarının karşılaştırılmasında sağlıklı sonuçlar vermeyebilir. Örneğin, sıcaklıktan en fazla etkilenen mermer-A'nın dayanım değerleri, sıcaklıktan en az etkilenen andezit-E'nin dayanım değerlerinden daha yüksektir (Şekil 3).

**Çizelge 2.** Numunelerin deney öncesi ve deney sonrası ortalama ultrasonik hız değerleri (Berber ve diğ., 2006).

**Table 2.** The mean ultrasonic velocity values of specimens before and after the experiments (Berber et al., 2006).

Numune adı	Muamele sıcaklığı (°C)											
	200		400		600		700		800		1000	
	Ortalama ultrasonik hız (m/sn)											
	Deney öncesi	Deney sonrası	Deney öncesi	Deney sonrası	Deney öncesi	Deney sonrası	Deney öncesi	Deney sonrası	Deney öncesi	Deney sonrası	Deney öncesi	Deney sonrası
Traverten-G	6302,4	5812,8	5908,2	4258,6	6063,2	2624,2	6243,6	2358,8	6203,6	*	**	**
Traverten-B	6001,2	5939,2	5803,6	5121,4	5928,6	3730,2	6335,2	3448,4	6073,8	*	**	**
Traverten-KL	6148,4	4885,8	6244,4	3161,6	5566,2	1394,2	6175,4	1003,4	5815,8	*	**	**
Traverten-M	6220,6	6088,8	6658,4	4319,6	6517,6	2394,6	6647,8	2661	6549	2293	**	**
Limra-A	4934,4	4300,4	4984,8	3128,4	5566,2	1984,4	4793,2	1611	4812,8	*	**	**
Andezit- S	2917	2626,2	2820	1967,8	2776,4	1696,8	**	**	3005,4	1602,8	3015	1163
Andezit- E	2747,8	2697,8	2749,2	2480	2685	2311,4	**	**_	2695,4	2169,2	2909,2	2485,8
Andezit-KG	4294,5	3819,5	4257,5	3318	4270	3176,5	**	**	4163,5	2495,75	4269,25	1819,75
Andezit-A	4373,6	4279,4	4384,2	3392,2	4296,6	2425,8	4180,6	2224,8	4300	*_	**	**
Granit-AG	5203,75	4270,75	5296,5	3553,5	4109	1370,75	**	**	5383,5	586	5620	553
Granit-KR	5099	4288,5	5253	3170,25	5302,75	1481,5	5293,67	*	5269,25	*	**	**
Bej-B	7235,2	6853,4	6995,8	5362,2	6910,6	3630,6	7507	3623,2	7046,2	3051	**	**
Mermer-A	6511,6	4127,8	6259,8	2670,8	6494,4	1883,2	6871,4	1749,4	6579,8	1448	**_	**
Bej-Y	4210,4	4340,8	5392,6	3423,2	5680,6	2613	5483	2425	5559,8	1636,5	**_	**

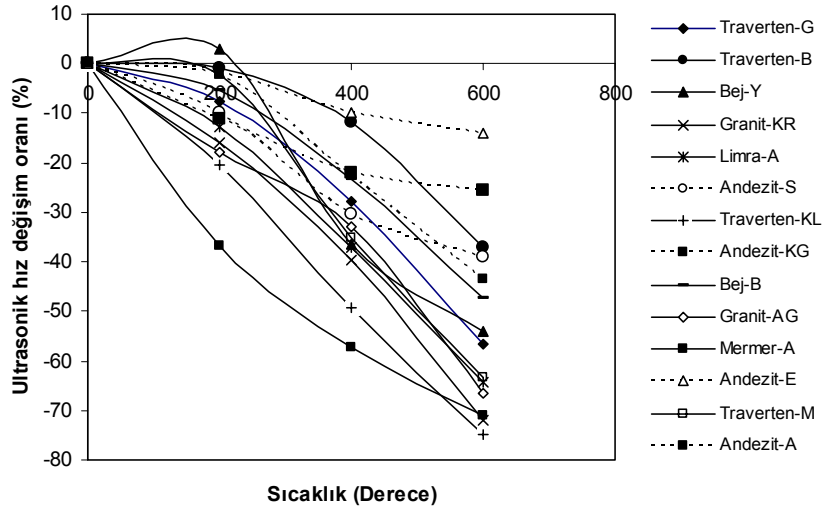
\*\* Deney yapılmamıştır, \* Bozunma nedeniyle sağlıklı ölçüm alınamamıştır.

**Çizelge 3.** Numunelerin deney öncesi ve deney sonrası ortalama ultrasonik hız değerlerindeki yüzde değişimler (Berber ve diğ., 2006)

**Table 3.** The variation percentages of average ultrasonic velocity values of the specimens before and after the experiments (Berber et al., 2006)

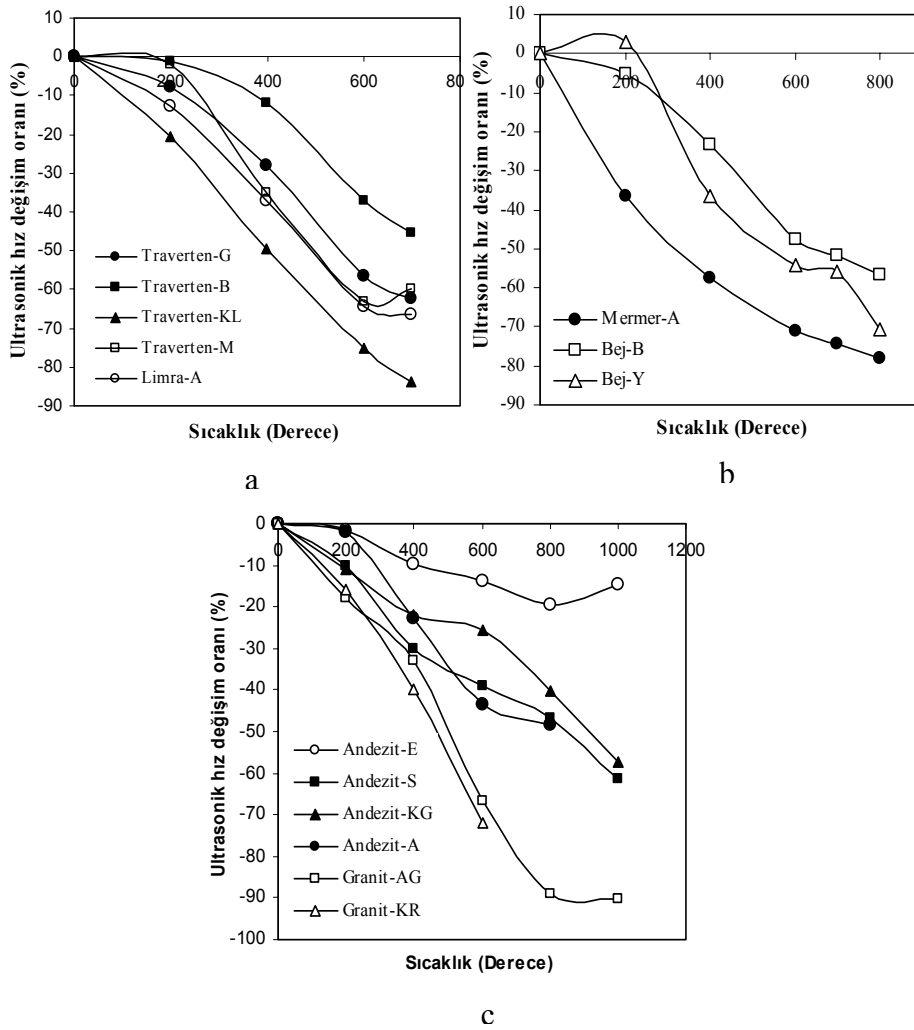
Numune adı	Muamele sıcaklığı (°C)					
	200	400	600	700	800	1000
	Ortalama ultrasonik hız değişim oranı (%)					
Traverten-G	-7,76847	-27,9205	-56,7192	-62,2205	*	**
Traverten-B	-1,03313	-11,7548	-37,0813	-45,5676	*	**
Traverten-KL	-20,5354	-49,3690	-74,9524	-83,7517	*	**
Traverten-M	-2,11877	-35,1256	-63,2595	-59,9717	-64,987	**
Limra-A	-12,8486	-37,2412	-64,3491	-66,3899	*	**
Andezit- S	-9,96915	-30,2199	-38,8849	**	-46,6693	-61,4262
Andezit- E	-1,81964	-9,79194	-13,9143	**	-19,5221	-14,5538
Andezit-KG	-11,0607	-22,0669	-25,6089	**	-40,0564	-57,3754
Andezit-A	-2,15383	-22,6267	-43,5414	*	-48,2605	**
Granit-AG	-17,9294	-32,9085	-66,6403	**	-89,1149	-90,1601
Granit-KR	-15,8953	-39,6488	-72,0617	*	*	**
Bej-B	-5,27698	-23,3512	-47,4633	-51,7357	-56,7001	**
Mermer-A	-36,6085	-57,3341	-71,0027	-74,5409	-77,9933	**
Bej-Y	3,09709	-36,5204	-54,0013	-55,7724	-70,5655	**

\*\* Deney yapılmamıştır, \* Bozunma nedeniyle sağlıklı ölçüm alınamamıştır.



Şekil 3. Sıcaklık artışına bağlı numunelerin ultrasonik dalga hızındaki değişim yüzdeleri.

Figure 3. The variation percentages of ultrasonic wave velocity depends on the temperature increase.



Şekil 4. a) Sedimanter, b) Metamorfik, c) Mağmatik-vulkanik orijinli kayaçların, sıcaklık artışına bağlı ultrasonik dalga hızındaki yüzde değişimler

Figure 4. The variation percentages of ultrasonic wave velocity of a) sedimentary, b) metamorphic and c) magmatic rocks depends on the temperature increase

Kayaç türüne bağlı değişimleri gözlemek için aynı orijine sahip kayaç gurupları ayrı ayrı incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4'de grafik üzerinde gösterilmiştir.

Sedimanter orijinli kayaçların, sıcaklık değişimine bağlı ultrasonik dalga hızındaki yüzde değişimler Şekil 4a'da görülmektedir. Şekil 4a'da görüldüğü gibi sedimanter kayaçlar sıcaklıktaki değişimlere benzer bir eğilim ile tepki vermişlerdir. Ancak sıcaklıktan etkilenme dereceleri farklılık göstermektedir. Sıcaklıktan en fazla etkilenen travertenin gözenekliliğinin yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 5). Sedimanter kayaçlar 800 °C 'de parçalara ayrılacak derecede bozunmuşlar ve en fazla 700 °C'ye kadar dayanabilmişlerdir. Ayrıca, bu kayaçlar yüksek oranda  $\text{CaCO}_3$  içerdikleri için soğuma sonrası nem aldıkça bozunma devam

ederek artmıştır (Şekil 5). Sonuç olarak, sedimanter kayaçların 600 °C üstü sıcaklıklara maruz kalması önemli bir risk oluşturmaktadır.

Metamorfik orijinli kayaçların, sıcaklık değişimine bağlı ultrasonik dalga hızındaki yüzde değişimler Şekil 4b'de görülmektedir. Şekil 4b'de görüldüğü gibi farklı numuneler sıcaklığa farklı şekillerde tepki vermişler ve mermerin sıcaklığa karşı dayanımının bej mermerlerden daha düşük olduğu görülmüştür. Şekil 6'da görüldüğü gibi bozunma, 700 °C üzerinde uflanma ve parçalanma şeklinde görülmüştür. Bozunma bej mermerlerde öncelikli olarak yapısal bozukluklarda belirgin olarak görülmüştür. Yapılan gözlem ve ölçümler bu tür kayaçların maksimum 700 °C ye kadar dayanabileceklerini göstermiştir.



Şekil 5. Farklı sıcaklıklara maruz kalmış limra ve traverten numunelerinden örnek fotoğraflar  
Figure 5. Sample photos of lymra and travertine specimens exposed to different temperatures



Şekil 6. Farklı sıcaklıklara maruz kalmış mermer numunelerinden örnek fotoğraflar.  
Figure 6. The sample photos of marble specimens exposed to different temperatures.





**Şekil 7.** Farklı sıcaklıklara maruz kalmış andezit ve granit numunelerinden örnek fotoğraflar.

*Figure 7.* Sample photos of andesite and granite specimens exposed to different temperatures.

Mağmatik kayalardan granit ve andezitlerin sıcaklığa karşı tepkileri farklı olmuştur. Şekil 4c’de görüldüğü gibi granitlerin sıcaklığa karşı dirençleri genel olarak andezitlere oranla daha düşük olarak gerçekleşmiştir. Granit ve andezitlerde kendi aralarında sıcaklığa farklı tepki göstermişlerdir. Örneğin granit-AG numunelerinden bazıları 1000°C’ye kadar direnç gösterirken, granite-KR 600°C sonra tamamen dağılarak bozunmuştur. Diğer kayaç türlerinde bozunma; numune çevresinde kavlama ve ufalanma şeklinde oluşurken, granitlerde tamamen dağılma şeklinde görülmüştür. Andezit-A Şekil 4c ve Şekil 7’den de anlaşılacağı üzere 700 °C’ye kadar dayanabilmiş ve 700 °C’de numune çevresi ve kenarlarında çatlamalar görülmüştür. Diğer andezit türleri 1000°C’ye kadar sıcaklığa şekilsel değişime maruz kalmadan direnç göstermişlerdir.

Ayrıca, numunelerin sıcaklığa bağlı renk değişimleri incelenmiştir. Bütün numunelerde 400 °C’de renkler koyulaşırken, sıcaklık artışıyla birlikte numune renklerinde açılma görülmüştür. Renk değişimi en fazla sırasıyla traverten ve bej mermerde görülmüştür. En az renk değişimi ise granitlerde, mermer ve limrada görülmüştür.

## SONUÇLAR

Yangınla hasara uğramış yapı taşı özelliklerindeki değişimler hakkında sağlıklı bir karar verebilmek için dikkatli gözlem ve ayrıntılı çalışmalar yapmak gerekmektedir. Bu çalışmadan elde edilen verilerde göstermektedir

ki kayaçların artan sıcaklığa bağlı olarak dayanımları da azalmaktadır. Ultrasonik ölçüm yöntemi, numunede oluşan bu değişimi belirlemede başarıyla uygulanmıştır. Deney çalışmaları sonucunda elde edilen bilgi, gözlem ve tespitler aşağıda sıralanmıştır.

Yangın hasarına uğramış yapı taşları özelliklerinin tayininde tahribatsız ultrasonik ölçüm yönteminin uygulanması yararlı olabileceği düşünülmektedir. Sıcaklık artışına bağlı olarak bozunumun arttığı, bunun da, ultrasonik dalga hızı ölçümleri ile belirlenebileceği görülmüştür.

Yangında yapı taşlarının hangi sıcaklığa kadar direnç gösterebileceği belirlenmiştir. Yani; andezitlerin (Andezit-A hariç), granit-AG’nin 1000°C’ye kadar, travertenlerin 700°C’ye kadar, granit-KR’nin ise 600°C’ye kadar direnç gösterdiği belirlenmiştir.

Yapı taşlarında şekilsel bozunum olup olmadığı hangi sıcaklıklarda bu olayların gözlemlendiği not edilmiştir. Granit-KR’de bozulma 700°C’de tamamen dağılma şeklinde görülmüştür. Granit-AG 1000°C’ye kadar dayanmakla birlikte numunelerinin bazılarında 800 °C’de dağılma ve çatlama şeklinde bozulmalar görülmüştür. Traverten ve mermer numunelerinde fırın tabanına temas eden kısımlarında 700°C’ çatlamalar görülmüştür. Andezit (Andezit-A hariç) numunelerinde ise belirgin şekilsel bozunum görülmemiştir.

Yapı taşının hangi sıcaklıkta hangi rengi aldığı belirlenmiştir. Genel olarak bütün numunelerde 400 °C’de renkler koyulaşırken, sıcaklık artışıyla birlikte numune renklerinde



açılma görülmüştür. Renk değişimi en fazla sırasıyla traverten ve bej mermerde görülmüştür. En az renk değişimi ise granitlerde, Afyon mermer, Limra ve Yozgat bej'de görülmüştür.

Kayaçların mineral içeriklerinin ve yapılarının bozunmanın derecesi ve şekli ile doğrudan ilgili olduğu bilinmektedir. Örneğin;

mermer, limra ve traverten gibi yüksek  $\text{CaCO}_3$  oranına sahip kayaç türlerindeki bozunma, ortamdan aldığı neme bağlı olarak artmıştır. Kayaçların petrografik, fiziksel ve mekanik özellikleri ile yüksek sıcaklık arasında ilişkiyi tanımlayan çalışmalar devam etmekte olup bu bildiri ön çalışma olarak sunulmuştur.

## KAYNAKLAR

- Allison, R. J. 1988, A non-destructive method of determining rock strength, *Earth Surface Processes and Landforms*; 13, 729- 736 pp.
- Allison, R. J. ve Bristow, G. E., 1999, The effects of fire on rock weathering: some further considerations of laboratory experimental simulation; *Earth Surface Processes and Landforms*, Volume 24, Issue 8 , 707 – 713 pp.
- Akman, M.S., 2005, Betonarme Yapılarda Yangın Hasarı ve Yangın Sonunda Taşıyıcılığın Belirlenmesi; ([www.sika.com.tr/images/betyanginhasar.pdf](http://www.sika.com.tr/images/betyanginhasar.pdf) ).
- Baradan B., Yazıcı H. ve Ün, H., 2002, Betonarme Yapılarda Kalıcılık, Dokuz Eylül Üniversitesi; Mühendislik Fakültesi Yayınları; İzmir, No. 218, 281 s.
- Berber, E., Yatağan, İ. ve Akkurt, S., 2006, Yüksek sıcaklığın yapı taşlarının dayanımı üzerindeki etkisinin ultrasonik ölçümler ile tahmini; Bitirme tezi, Selçuk Üniversitesi, Maden Müh.Böl. Konya
- Goudie, A. S., Allison, R. J. ve McLaren, S. J. 1992, The relations between modulus of elasticity and temperature in the context of the experimental simulation of rock weathering by fire; *Earth Surface Processes and Landforms*, 17, 605-615pp.
- Hajpál, M ve Török Á., 1998, Petrophysical and mineralogical studies of burnt sandstones; 2nd International Ph.D. Symposium in Civil Engineering.
- ISRM, 1981, Rock Characterization Testing and Monitoring Suggesting Methods; Oxford

